

## 新疆典型棉区土壤微塑料污染现状及分布特征

孙霞, 苟燕如, 严涵, 汤庆峰, 杨再磊, 贾宏涛

### 引用本文:

孙霞, 苟燕如, 严涵, 汤庆峰, 杨再磊, 贾宏涛. 新疆典型棉区土壤微塑料污染现状及分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 571-580.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0155>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 我国西北覆膜农田土壤微塑料数量及分布特征

程万莉, 樊廷录, 王淑英, 李尚中, 张建军, 赵刚, 王磊, 党翼

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2561-2568 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0505>

#### 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布

时馨竹, 孙丽娜, 李珍, 吕良禾

农业环境科学学报. 2021, 40(7): 1498-1508 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1502>

#### 春季乌梁素海水体微塑料分布特征及影响因素

王志超, 杨建林, 杨帆, 李卫平, 杨文焕

农业环境科学学报. 2021, 40(10): 2189-2197 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0454>

#### 不同土壤环境因素对微塑料吸附四环素的影响

杨杰, 仓龙, 邱炜, 杨江俐, 周东美

农业环境科学学报. 2019, 38(11): 2503-2510 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0490>

#### 水土环境中微塑料对磷的吸附行为

李旺, 祖波, 冉典容, 黄银权, 李嘉雯

农业环境科学学报. 2021, 40(8): 1758-1764 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0284>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孙霞, 苟燕如, 严涵, 等. 北疆典型棉区土壤微塑料污染现状及分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 571-580.

SUN X, GOU Y R, YAN H, et al. Soil microplastic pollution and distribution characteristics in a typical cotton field in northern Xinjiang, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(3): 571-580.



开放科学 OSID

# 北疆典型棉区土壤微塑料污染现状及分布特征

孙霞<sup>1,2</sup>, 苟燕如<sup>1</sup>, 严涵<sup>1</sup>, 汤庆峰<sup>3\*</sup>, 杨再磊<sup>1,2</sup>, 贾宏涛<sup>1,2\*</sup>

(1. 新疆农业大学资源与环境学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆土壤与植物生态过程重点实验室, 乌鲁木齐 830052; 3. 北京市科学技术研究院分析测试研究所(北京市理化分析测试中心), 北京 100089)

**摘要:**为研究北疆棉区土壤微塑料的污染现状及分布特征,于2021年4月采集分析了不同覆膜年限(0、5、10、20、30 a)及不同土层深度(0~10、10~20、20~30 cm)的土壤样品。结果表明:北疆棉区土壤中微塑料丰度范围为1 565~3 560个·kg<sup>-1</sup>,且随着覆膜年限的增加微塑料丰度值呈现升高趋势,但地膜的使用量与微塑料丰度的关联度逐渐降低,10~30 cm土壤微塑料丰度与地膜的使用量关联度高;该区域土壤微塑料形状主要有薄膜状、碎片状、纤维状和发泡状4种;微塑料颜色包括白色透明、黑色、黄色和其他颜色,所占比例分别为69.02%、14.78%、6.49%和9.71%;微塑料粒径随覆膜年限增加而减小,粒径<0.5 mm的微塑料所占百分比最大;利用傅里叶衰减全反射红外光谱(FTIR)随机调查发现,研究区内土壤微塑料的主要成分分别是聚乙烯(PE)占比45%、聚丙烯(PP)占比20%、聚酰胺(PA)占比16%;各覆膜年限土壤微塑料污染负荷指数在1.70~2.57之间,且随着覆膜年限的增加而增加,研究区微塑料污染负荷指数达到2.09,微塑料污染等级已达重度。研究表明,研究区内存在不同程度的微塑料污染,其引起的生态风险需引起重视。

**关键词:**北疆棉区;土壤微塑料;分布特征;生态风险

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2024)03-0571-10 doi:10.11654/jaes.2023-0155

## Soil microplastic pollution and distribution characteristics in a typical cotton field in northern Xinjiang, China

SUN Xia<sup>1,2</sup>, GOU Yanru<sup>1</sup>, YAN Han<sup>1</sup>, TANG Qingfeng<sup>3\*</sup>, YANG Zailei<sup>1,2</sup>, JIA Hongtao<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Process, Xinjiang, Urumqi 830052, China; 3. Institute of Analysis and Testing of Beijing Institute of Science and Technology (Beijing Physical and Chemical Analysis and Testing Center), Beijing 100089, China)

**Abstract:** In order to study the soil microplastic pollution and distribution characteristics in typical areas of cotton cultivation in northern Xinjiang, in April 2021, we collected soil samples from different depths (0–10, 10–20 cm, and 20–30 cm) from a field that had been subjected to film mulching for different lengths of time (0, 5, 10, 20 years, and 30 years). Analysis of the samples revealed that the abundance of microplastics in the soil of the cotton field ranged from 1 565 items·kg<sup>-1</sup> to 3 560 items·kg<sup>-1</sup>, and showed an increasing trend with a longer period of time under film mulching. The degree of correlation between the amount of agricultural film mulch and the abundance of microplastics gradually decreased, whereas the degree of correlation between the abundance of microplastics and the amount of agricultural film mulch in the 10–30 cm soil layer was high. There were four types of soil microplastic, namely film, debris, fibers, and foam. The microplastics differed in color, with transparent white, black, and yellow being the most common, accounting for 69.02%,

收稿日期:2023-03-03 录用日期:2023-06-15

作者简介:孙霞(1975—),女,江苏建湖人,博士,副教授,从事土壤与植物营养研究。E-mail:sunxia1127@163.com

\*通信作者:贾宏涛 E-mail:jht@xjau.edu.cn; 汤庆峰 E-mail:tangqingfeng@bcpc.a.ac.cn

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01A88);农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室开放基金项目(XBLZ-202004)

Project supported: The Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region, China(2021D01A88); The Open Fund of Northwest Oasis Agricultural Environment Key Laboratory of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs(XBLZ-202004)

14.78%, and 6.49% of the total microplastics, respectively. Other colors contributed to the remaining 9.71%. The size of microplastic particles decreased with an increase in coating life, with the largest fraction being those microplastics with particle size of <0.5 mm. Analysis of random samples using Fourier attenuated total reflection infrared spectroscopy revealed that the main components of soil microplastics in the study area were polyethylene (45%), polypropylene (20%), and polyamide (16%). The soil microplastic pollution index for soils subjected to film mulching for a different number of years ranged from 1.70 to 2.57, which increased with an increase in the length of time under film mulching. The microplastic pollution load index in the study area reached 2.09, indicating that the microplastic pollution had reached a severe level. The findings of this study reveal different extents of microplastic pollution in the study area, and accordingly the ecological risks posed by microplastic pollution should be assessed.

**Keywords:** cotton field in northern Xinjiang; soil microplastic; distribution characteristic; ecological risk

近年来,塑料产品的大量使用对生态环境造成了严重影响<sup>[1]</sup>。塑料在紫外线照射、空气氧化、物理降解等综合作用下,破碎成塑料碎片。2004年首次定义了“微塑料”的概念,即把粒径<5 mm的塑料颗粒叫做微塑料<sup>[2]</sup>。作为一种新型环境污染物,微塑料受到了国内外学者们的广泛关注。目前关于微塑料的分布研究大多集中在海洋或河流<sup>[3]</sup>、潮滩<sup>[4]</sup>、海岸<sup>[5]</sup>、大洋<sup>[6]</sup>。微塑料具有粒径小、比表面积大、吸附污染能力强等特点,其进入土壤后就会在土壤胶体的影响下成为土壤复合胶体的一部分,进而被保留在土壤中,对环境造成更大的危害,且危害持续时间更长。这些微塑料可以在土壤中不断积累并长期存在,由于被土粒包裹或结合于土壤团聚体,进入到土壤中的微塑料可能会影响土壤容重、渗透性、持水量以及水稳性团聚体等理化性质<sup>[7]</sup>。此外,微塑料可为微生物提供吸附位点,使其长期吸附在微塑料表面,形成生物膜,影响土壤微生物的生态功能。Jin等<sup>[8]</sup>的长期定位研究表明,塑料覆膜显著提高玉米秸秆的降解,提高土壤有机碳的积累,从而影响植物生长。微塑料在土壤中广泛存在,并且随着土壤环境迁移转化。

土壤微塑料的主要来源有地膜覆盖<sup>[9]</sup>、有机肥料施用<sup>[10]</sup>、污水污泥灌溉<sup>[11]</sup>、大气沉降<sup>[12]</sup>等。地膜覆盖是土壤微塑料的主要来源之一,主要是因其具有增温、保墒、抑制杂草、使植物提早成熟等显著优点<sup>[13]</sup>,地膜在新疆棉田得到了广泛的应用。新疆地膜覆盖栽培技术从20世纪80年代在棉花种植中开始推广使用,2021年全地区地膜覆盖面积246.07万hm<sup>2</sup>,其中棉田地膜覆盖面积160万hm<sup>2</sup>,占农田覆膜总面积的65.04%,地膜使用总量约17万t。随着农田地膜使用量和使用年限的不断增加,30多年来棉田积累的残膜污染问题尤为突出,残膜在土壤中大量聚集,给生态环境和农业生产带来了重大影响。然而目前只有少数案例研究了新疆北疆耕地表土或土壤剖面中的微塑料丰度,例如:Hu等<sup>[14]</sup>以新疆覆膜棉田为研究对

象,研究发现微塑料丰度与土壤深度大致呈线性负相关,0~30 cm土壤层,丰度均值为(1 615±5)个·kg<sup>-1</sup>,是微塑料的主要富集区,而在40~80 cm土壤深层,丰度均值下降至(112±1)个·kg<sup>-1</sup>。Yu等<sup>[15]</sup>的研究表明新疆地区地膜源微塑料的丰度为12 589个·kg<sup>-1</sup>,其中聚合物类型主要为聚乙烯(PE),形状主要为薄膜状(74.0%)。Liu等<sup>[16]</sup>在新疆阿勒泰青河县乌伦古河流域阿勒泰干旱区发现微塑料的主要形状是碎片状和纤维状,聚乙烯是主要的聚合物(1.6%),微塑料丰度为11 347~78 061个·kg<sup>-1</sup>。但目前对不同覆膜年限下,微塑料的丰度和形态特征分布知之甚少。

玛纳斯河棉区是新疆北部典型植棉区,棉花种植面积占农田灌溉面积的85%~90%,常年连作覆膜。开展北疆棉区土壤微塑料分布特征和生态风险研究和评估,明确棉田土壤中微塑料的污染状况,可为新疆棉田中微塑料污染防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于新疆昌吉州玛纳斯县(43°18'14"N, 86°13'11"E),地处天山北麓、准噶尔盆地南部,地势自东南向西北倾斜,属温带大陆性干旱半干旱气候区,冬季严寒,夏季酷热,年平均气温6.6℃,≥10℃积温3 489.7℃,年降水量110~200 mm,年蒸发量1 500~2 000 mm,无霜期148~187 d。该县是新疆优质棉花种植基地之一,常年连作覆膜,当季地膜回收率在80%以上,棉花种植技术和棉花产量在新疆名列前茅。主要土壤类型有灰漠土、风沙土、盐土。0、5、10、20、30 a地膜的残留量分别为18.43、19.95、30.03、33.25、46.18 kg·hm<sup>-2</sup>。

### 1.2 样品采集

2021年4月,分别在玛纳斯县的兰州湾镇(44°24'56"N, 86°11'47"E)、北五岔镇(44°31'56"N, 86°19'21"E)、六户地镇(44°39'00"N, 86°07'48"E)、乐

土驿镇(44°11'49"N,86°27'56"E)和包家店镇(44°21'36"N,86°19'48"E)5个镇选择覆膜年限为0、5、10、20、30 a的棉田采集土壤样品。采样前采样点棉田无翻耕,选取地理位置和海拔相近,土壤质地相似,田间管理大致相同,同一覆膜连作年限棉田选取10块样地,共50个采样点,用“S”形采样法在0~10、10~20、20~30 cm分层取样,土样清除可见杂物后,利用四分法提取土样约1 kg,装入布袋中,用封口膜密封带回实验室,立刻风干和低温保存,避免样品中微塑料老化和降解。

### 1.3 微塑料分离提取

采用密度分离法从土壤样品中提取微塑料<sup>[17]</sup>。称50 g过5 mm不锈钢筛的风干土壤样品于250 mL的三角瓶中,加入30%的NaClO·KOH混合溶液,充分混合,将三角瓶置于烘箱中60℃烘48 h,以保证充分消解上清液中的有机物等;加入1.2 g·mL<sup>-1</sup>饱和氯化钠溶液,振荡30 min,静置过夜,重复3次。最后,利用真空抽滤装置过滤,采用孔径为0.45 μm的玻璃纤维滤膜,以保证大于0.45 μm粒径的微塑料充分提取。为减少外源微塑料污染,整个实验过程在洁净室中进行,实验操作中穿戴棉质试验服,实验中的玻璃器皿均需用去离子水清洗干净,不用时用锡纸包裹存放。

### 1.4 微塑料鉴定及表征

将载有微塑料的滤膜置于体视显微镜(SMZ25, Nikon)下观察,记录微塑料的颜色、大小及形状;用显微-傅里叶变换红外光谱仪(HYPERION2000, Bruker)对样品进行光谱分析,通过目标物红外光谱图与标准谱图对比,对目标物进行定性分析。同时,使用扫描电子显微镜(Scan Electronic Microscope, SEM)观测微塑料及其表面微观形貌(Zeiss Supra55VP)。

### 1.5 污染负荷指数

Tomlinson等<sup>[18]</sup>提出的污染物负荷指数(Pollution Load Index, PLI)模型,是以研究区域样点微塑料的丰度为主要指标,点面结合评价总体的污染情况。在本研究中,使用微塑料丰度代替污染物负荷来评估玛纳斯河棉区土壤微塑料污染引起的生态风险。评估模型定义如下:

$$CF_i = C_i / C_{oi} \quad (1)$$

$$PLI_i = \sqrt{CF_i} \quad (2)$$

$$PLI_{zone} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times \dots \times PLI_n} \quad (3)$$

式中:CF<sub>i</sub>为各样点的微塑料污染系数;C<sub>i</sub>为单个样点的微塑料丰度;C<sub>oi</sub>为微塑料丰度的参考值,选择Ever-

aert等<sup>[19]</sup>利用数学模型所估算出的对生物体无效应安全浓度(540个·kg<sup>-1</sup>);PLI<sub>i</sub>为单个样点的微塑料污染负荷指数;n为样点个数;PLI<sub>zone</sub>为该区域内微塑料污染负荷指数。PLI值<1时污染等级为轻度污染,1≤PLI值≤2为中等污染,PLI值>2为重度污染。

### 1.6 数据分析及处理

本实验土壤样品中微塑料丰度以“个·kg<sup>-1</sup>”为单位,实验结果以平均值±标准差表示。使用Excel 2010对数据进行统计,使用SPSS 25.0对数据进行单因素方差分析(ANOVA)和多重比较(LSD),使用灰色关联度分析计算关联系数和加权关联度。采用Origin 2021软件绘图。

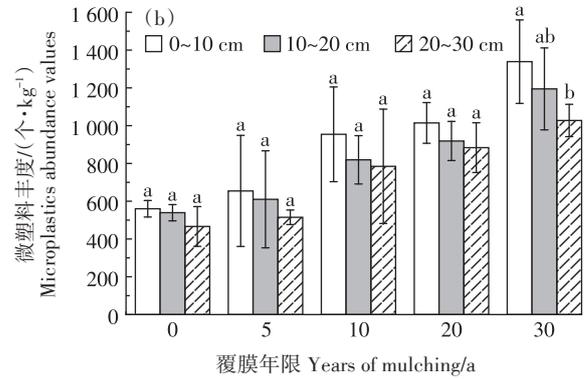
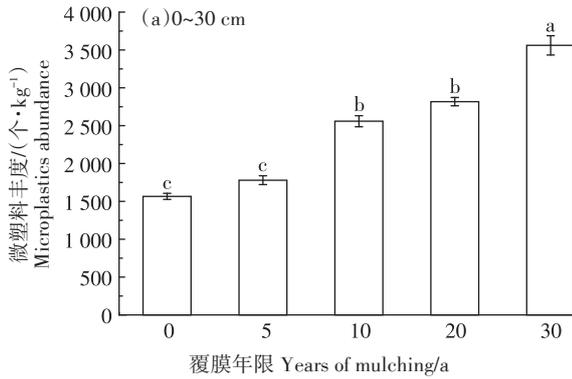
## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆膜年限对土壤中微塑料丰度的影响

如图1所示,在各覆膜年限土壤中均检测出微塑料的存在,并且随着覆膜年限的增加微塑料丰度呈现升高趋势,且差异显著(P<0.05)。如图1a所示,在0~30 cm土层中覆膜0 a时微塑料丰度最低,为1 565.94个·kg<sup>-1</sup>,且与覆膜5 a的微塑料丰度(1 779.52个·kg<sup>-1</sup>)差异并不显著,在覆膜30 a时微塑料丰度最高,达到3 560.66个·kg<sup>-1</sup>。

图1b显示,在不同覆膜年限中,微塑料丰度随着土层深度的增加而降低。0~10、10~20、20~30 cm土层微塑料丰度占比分别为36.82%、33.24%、29.94%。在不同土层深度微塑料丰度中,覆膜30 a的0~10 cm土层的丰度最高,为1 338.75个·kg<sup>-1</sup>,微塑料最小丰度出现在覆膜0 a的20~30 cm土层,为466.48个·kg<sup>-1</sup>。另外,随着覆膜年限的增加,微塑料丰度在不同土层深度中差异逐渐增加,其中覆膜0 a时,0~10、10~20、20~30 cm各土层微塑料丰度占比差异最小,分别为35.77%、34.44%、29.79%,覆膜30 a时,各土层微塑料丰度占比差异最大,分别为37.60%、33.55%和28.85%。

本研究地膜数据来源于新疆统计年鉴(1991—2020年)。灰色关联分析是对影响目标序列的相关因素进行定量分析的模型。针对3个评价项(0~10、10~20、20~30 cm)进行灰色关联度分析,并且以不同覆膜年限地膜使用量(kg)作为参考值(母序列),研究3个评价项与地膜使用量的关联关系(关联度)。结果表明(表1):当覆膜年限为0 a时,地膜使用量与10~20 cm土层关联度最大;当覆膜年限为5 a时,地膜使用量与20~30 cm土层关联度最大;当覆膜年限为10 a



不同字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Different letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

图1 不同覆膜年限下土壤微塑料丰度分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of soil microplastics abundance under different years of mulching

时,地膜使用量与10~20 cm土层关联度最大;当覆膜年限为20 a时,地膜使用量与0~10 cm土层关联度最大;当覆膜年限为30 a时,地膜使用量与20~30 cm土层关联度最大。

## 2.2 土壤中微塑料外形特征

### 2.2.1 颜色分布

通过体视显微镜观察,将微塑料颜色分为:白色透明、黑色、黄色和其他颜色。不同覆膜年限下土壤微塑料颜色分布特征如图2所示。由图2a可知棉田中土壤微塑料的颜色主要以白色透明为主,黄色微塑料占比最少。白色透明微塑料在覆膜0 a时占比最

大,为77.47%,在覆膜5 a时占比最小,为60.80%;黑色微塑料以覆膜5 a时占比最大,为19.73%,在覆膜0 a时占比最小,为8.83%;黄色微塑料在覆膜5 a时占比最大,为8.06%,在覆膜30 a时占比最小,为2.43%;其他颜色在覆膜5 a时占比最大,为15.09%,在覆膜30 a时占比最小,为6.02%。覆膜年限间,相同颜色的微塑料占比相差不大。

不同土壤深度微塑料颜色的分布不同(图2b),

表1 覆膜年限与土壤微塑料丰度相关性分析

Table 1 Correlation analysis between the years of mulching and soil microplastics abundance

覆膜年限 Years of mulching/a	土层深度 Soil depth/cm	关联度 Correlation	排名 Ranking
0	0~10	0.822	2
	10~20	0.860	1
	20~30	0.570	3
5	0~10	0.597	3
	10~20	0.618	2
	20~30	0.898	1
10	0~10	0.723	2
	10~20	0.844	1
	20~30	0.606	3
20	0~10	0.678	1
	10~20	0.602	2
	20~30	0.600	3
30	0~10	0.589	2
	10~20	0.565	3
	20~30	0.759	1

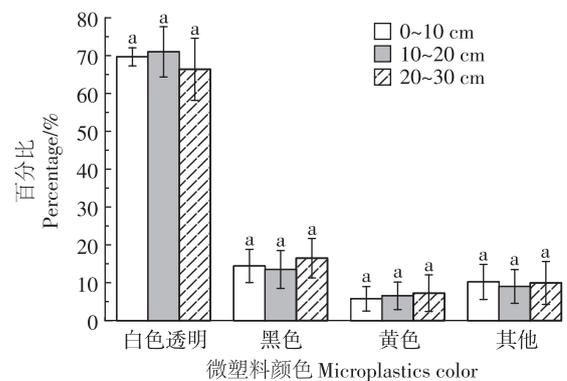
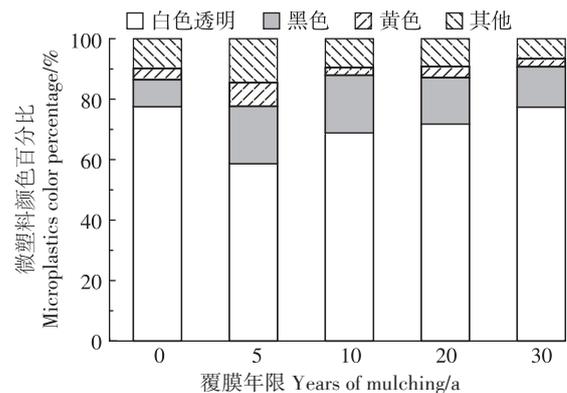


图2 土壤中微塑料的颜色分布

Figure 2 Colors distribution of soil microplastics

且各土层微塑料颜色占比差异不显著。其中,白色透明微塑料在10~20 cm土层中比例最高,为71.00%,黑色微塑料在20~30 cm土层中比例最高,为16.46%,黄色微塑料在0~10 cm土层中比例最低,为5.73%。

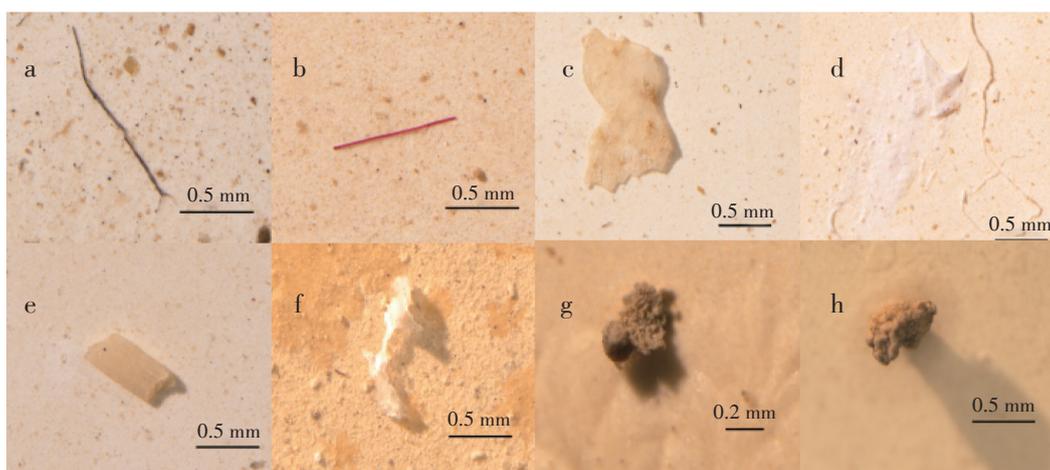
### 2.2.2 形状分布

在北疆棉区土壤中检测到的微塑料形状包括薄膜状、碎片状、纤维状和发泡状(图3)。从图4a可知,随着覆膜年限的增加,薄膜状微塑料的丰度整体呈现下降趋势,在覆膜10 a时占比最小,为9.97%,碎片状微塑料在覆膜10 a时占比最大,为32.46%,纤维状微塑料的丰度随覆膜年限增加呈现先增加后降低的趋势,在覆膜5 a时占比最大,为55.43%,发泡状微塑料的丰度呈现先降低后增加的趋势,在覆膜5 a时占比最小,为7.01%,在覆膜30 a时占比最大,为16.05%。

在0~30 cm范围内薄膜、碎片、纤维和发泡状这4种形状微塑料的丰度占比分别为16.81%、24.69%、47.39%、11.11%。其中,纤维状微塑料的丰度占比最大(图4b),在0~10、10~20、20~30 cm土层内分别达到46.76%、46.63%、48.76%。其次是碎片状微塑料,其丰度在3个土层内的比例分别为24.36%、25.05%、24.67%。薄膜状微塑料的丰度随着土层的增加而降低,在0~10 cm土层比例最高,为21.26%,在20~30 cm最低,为12.08%。发泡状微塑料的丰度在3个土层中占比最少,且随土层的增加而升高,在0~10 cm最低,20~30 cm最高。

### 2.2.3 粒径分布

各覆膜年限微塑料的粒径分布特征如图5所示,北疆棉区土壤中微塑料的粒径主要为<0.5 mm的。由图5a可知,随着覆膜年限的增加,5~2 mm粒径的



a, b为纤维状; c, d为薄膜状; e, f为碎片状; g, h为发泡状。  
a, b are fiber; c, d are thin film; e, f are debris; g, h are foam.

图3 土壤微塑料主要形状

Figure 3 Main shapes of soil microplastics

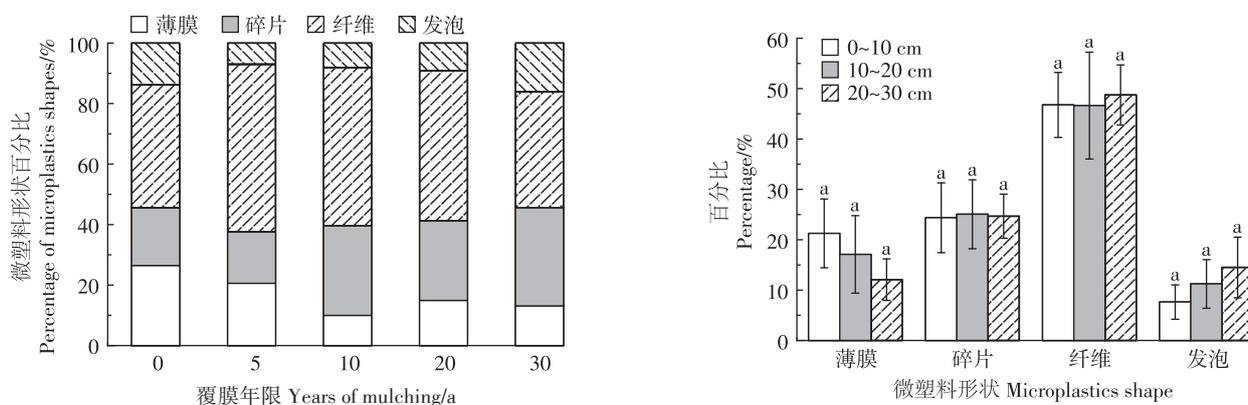


图4 土壤中微塑料的形状分布

Figure 4 Shape distribution of soil microplastics

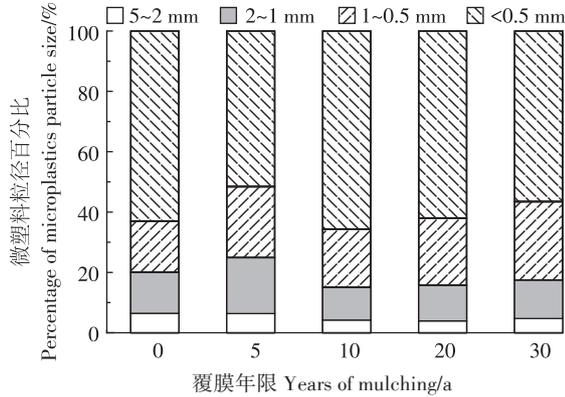
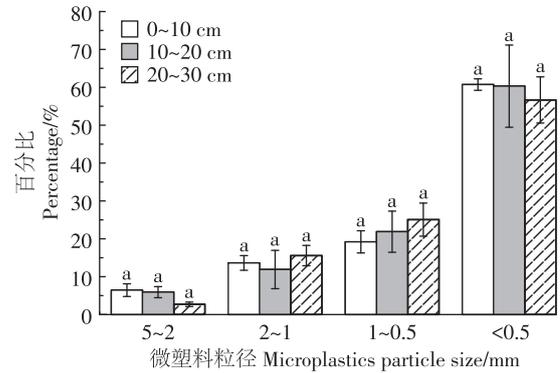


图5 土壤中微塑料的粒径分布

Figure 5 Particle size distribution of soil microplastics



微塑料占比逐渐降低,2~1 mm 粒径的微塑料占比逐渐升高。其中,5~2 mm 粒径的微塑料在覆膜0 a时占比最高,为6.46%,覆膜20 a时最低,为3.94%;2~1 mm 粒径的微塑料在覆膜5 a时占比最高,为18.52%,覆膜10 a时占比最低,为10.79%;1~0.5 mm 粒径的微塑料在覆膜30 a时占比最高,为26.02%,在覆膜0 a时占比最低,为16.97%;<0.5 mm 粒径的微塑料在覆膜10 a时占比最高,为65.72%,在覆膜5 a时占比最低,为51.55%。

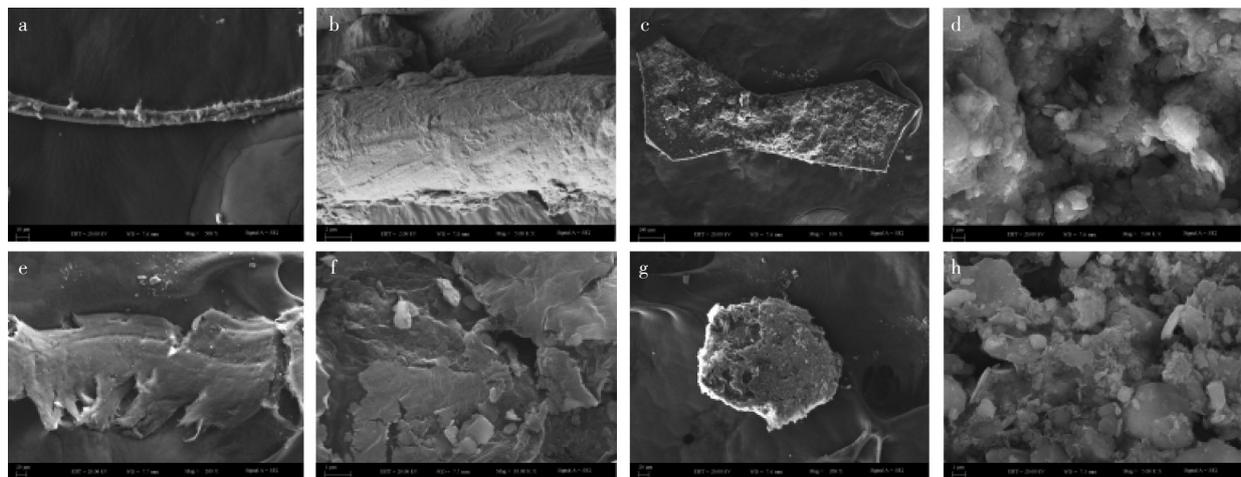
不同土层深度微塑料的粒径分布不同,图5显示在0~10、10~20、20~30 cm 土层微塑料粒径逐渐减小,且以小粒径( $\leq 1$  mm)微塑料为主要占比,各土层间差异不显著。<0.5 mm 粒径的微塑料占比最高,在各土层中的占比分别为60.73%、60.31%、56.66%,1~0.5 mm 粒径的微塑料占比次之,5~2 mm 粒径的微塑料比

例最低,在各土层中的占比分别为6.45%、5.92%、2.70%。随着土层的增加,5~2 mm 和<0.5 mm 粒径的微塑料占比逐渐下降。

### 2.3 土壤微塑料表征

#### 2.3.1 土壤微塑料的微观特征

各形状微塑料扫描电镜图显示(图6),不同形状的微塑料其表面形貌各不相同,表面粗糙程度也不尽相同,微塑料表面均有划痕或孔隙,边缘不规则。图6a和图6b显示,纤维状微塑料表面平整,呈线性,微观结构具有很多的薄片层,表面有许多吸附的颗粒物质。图6c和图6d为碎片状微塑料,其表面平整,形状规则,边缘一周的风化痕迹明显,有许多凸起和裂痕,其表面同样存在许多撕裂的微孔,使得微塑料表面产生众多块状凸起,并且表面观察到了一些附着的颗粒物的存在。图6e和图6f为薄膜状微塑料,其表面粗



a. 纤维全貌, b. 纤维细节; c. 碎片全貌, d. 碎片细节; e. 薄膜全貌, f. 薄膜细节; g. 发泡全貌, h. 发泡细节。  
a. Fiber, b. Fiber details; c. Debris, d. Debris details; e. Film, f. Film details; g. Foaming, h. Foam details.

图6 各形状微塑料的扫描电镜图

Figure 6 SEM view of different shapes of microplastics

糙多孔,且有裂痕,上面有许多碎屑。图6g和图6h为发泡状微塑料,其表面为多孔状结构,且纹路清晰,边缘不规则,内部风化、老化程度低于表面。微塑料多孔隙、有明显裂痕、表面粗糙的特性增大了微塑料的表面积,同时也增加了吸附各种污染物的能力。

### 2.3.2 微塑料组成成分特征

本研究利用傅里叶衰减全反射红外光谱对随机选取的55个微塑料颗粒进行红外光谱检测,以鉴定微塑料的成分。结果显示(图7),检测出的微塑料主要有6种,其中,聚乙烯(PE)25个,聚丙烯(PP)11个,聚氯乙烯(PVC)5个,聚酰胺(PA)9个,聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)3个,聚酯(PET)2个。

### 2.4 玛纳斯河棉区土壤微塑料风险评估

新疆棉区各覆膜年限土壤微塑料污染负荷指数

表明(表2),各个覆膜年限土壤均受到不同程度的污染,经计算得出新疆棉区各覆膜年限土壤微塑料PLI指数在1.70~2.57之间,并且随着覆膜年限的增加,指数也在增加,覆膜30a的棉田污染指数最高,为2.57

表2 新疆棉区各覆膜年限土壤微塑料污染负荷指数

Table 2 Pollution load index of soil microplastics for each mulching years of the northern cotton field in Xinjiang

覆膜年限 Years of mulching/a	微塑料污染系数CF Microplastics pollution coefficient	PLI指数 PLI index
0	2.90	1.70
5	3.30	1.82
10	4.74	2.18
20	5.22	2.28
30	6.59	2.57

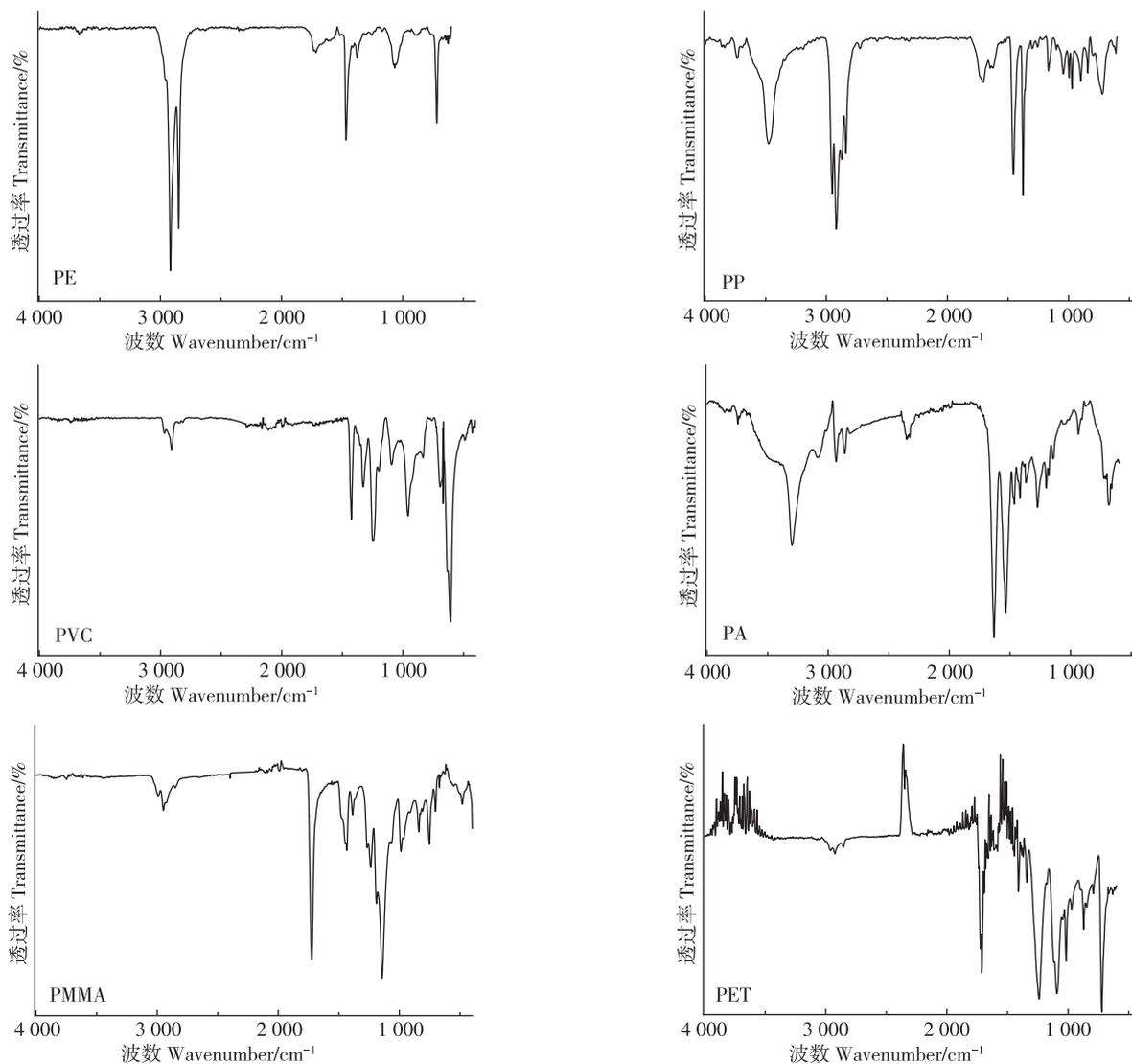


图7 土壤中微塑料的红外谱图

Figure 7 Infrared spectrogram of soil microplastics

(重度污染),覆膜0 a的污染指数最低,为1.70(中度污染),表明不同覆膜年限的环境风险存在差异。由模型计算可得北疆棉区土壤微塑料PLI指数为2.09,北疆棉区内微塑料污染程度已达重度。

### 3 讨论

本研究在北疆棉区不同土层深度及不同覆膜年限的棉田土壤中均检测出了微塑料,这说明该区域土壤中微塑料普遍存在。同时,该区域土壤中微塑料丰度远高于我国湖泊湿地沉积物及潮滩中的丰度<sup>[20-21]</sup>。Huang等<sup>[22]</sup>研究发现土壤微塑料的丰度随着连续的地膜覆盖而增加,结果与本研究一致。本研究发现,随着土层深度的增加微塑料丰度逐渐减小,这与时馨竹等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。灰色关联分析发现,从时间年限上来看,随着覆膜年限的增加,地膜的使用量与微塑料丰度的关联度逐渐降低,这种情况可归因于生产地膜的原料聚乙烯随着时间增长在土壤中逐渐降解,直至上百年才会在土壤中被完全降解<sup>[24]</sup>。从土层深度上来看,地膜的使用量与0~10 cm土层微塑料丰度关联度低,与10~30 cm土层微塑料丰度关联度高,这可能是由于新疆地区棉田的覆膜年限较长,平均覆膜历史>20 a,而且新疆棉田大多采用大型机械作业,其在翻耕时容易造成耕地深度较大,导致残膜碎片更容易直接从浅土层进入深土层<sup>[25]</sup>,耕作活动将导致表层土壤和地下土壤的倒置<sup>[26]</sup>,加速残膜在土壤中的分裂和纵向运移。

研究区棉田土壤以纤维状微塑料为主,但随着覆膜年限的增加,该形状微塑料百分比逐渐下降。这与前人研究结果一致,在上海农田土壤中发现所有微塑料中纤维状百分比最大,达到44%<sup>[27]</sup>。本研究发现白色透明微塑料占主要部分,这可能与大规模覆膜种植和使用大量地膜导致的农膜残留有关,而黑色微塑料可能是土壤表面滴灌带的紫外线照射、风化及降解造成的。本研究数据显示,研究区棉田土壤微塑料的粒径随着土层深度的增加而逐渐减小,Hu等<sup>[28]</sup>也发现了相似的结论,西北覆膜农田土壤中微塑料的平均粒径与土层深度呈线性负相关。表层土壤中的小粒径微塑料更容易随着土壤水分<sup>[25]</sup>或土壤动物误食而迁移到土壤深处<sup>[27]</sup>。此外,前人研究发现微塑料的粒径分布还影响动物摄入微塑料的数量,粒径小的微塑料更容易被土壤动物摄入,从而可能产生一定的毒害作用<sup>[29]</sup>。因此,未来应加强土壤环境中小粒径微塑料分布及其污染毒性相关方向的研究。

Huang等<sup>[30]</sup>研究发现微塑料表面有裂纹和孔隙,表明覆盖的吸附物可以通过光氧化或土壤颗粒物磨损分解成颗粒状有机物。微塑料表面有许多孔隙,其表面附着的重金属、有机污染物等可能对环境造成更大风险,而微塑料的吸附能力是由形状和表面形貌共同决定的<sup>[31]</sup>。同时,微塑料经过长时间的风化,会变得表面粗糙,时间越长,粗糙程度越严重,吸附污染物的能力越强<sup>[32]</sup>,因此应该重视长期风化后的微塑料对生态环境的潜在危害。同时,研究区干燥少雨,日照时间长,长期连作,微塑料经过长时间紫外线照射及耕作时磨损,表面粗糙程度加剧,从而吸附污染物的能力逐渐增强。环境中的微塑料经过长期风化和腐蚀后表面的形态和粒径可能会发生变化,因此,微塑料的外貌表征形态也同样值得研究。

此外,对我国黄土高原地区的研究表明,耕地土壤微塑料主要类型是聚对苯二甲酸己二醇酯和聚氨酯类型的微塑料<sup>[33]</sup>,但本研究中抽样调查的棉田土壤则以聚乙烯和聚丙烯类型的微塑料为主,这种差异可能是来源于不同的研究中微塑料提取分离等操作步骤的差异,以及在离心过滤过程中不同密度的微塑料的损失。例如,早期研究中土壤中微塑料的分离提取一次完成<sup>[34]</sup>,但本研究经过3次重复离心过滤,因此,急需微塑料样品分离及分析方法标准化,以有效从土壤/沉积物中提取微塑料,并准确识别其类型和形态,从而量化对比不同类型微塑料在陆地系统中的分布、降解和环境风险。

微塑料污染负荷指数表明,北疆棉区内各个覆膜年限土壤均受到不同程度的污染,整个区域的污染程度已达重度污染,这对北疆棉区土壤生态环境及作物生长造成一定威胁。而微塑料具有体积小、比表面积大等特点<sup>[35]</sup>,易与其他有机污染物形成复合污染效应<sup>[36]</sup>。北疆棉区作为新疆重要的棉花种植基地,微塑料最终对土壤质量,农业生态系统服务和棉花产量、品质造成一定影响,引发陆地生态风险,今后应加强对该区域微塑料污染的源头输入控制与风险管控。

### 4 结论

(1)北疆棉区土壤中微塑料丰度范围为1 566~3 561个·kg<sup>-1</sup>,随着覆膜年限的增加微塑料丰度呈现升高趋势,且变化显著( $P<0.05$ ),微塑料丰度随着土层深度的加深而逐渐减小。随着覆膜年限的增加,地膜的使用量与微塑料丰度的关联度逐渐降低,10~30 cm土层的微塑料丰度与地膜的使用量关联度高。

(2)北疆棉区土壤微塑料形状主要有薄膜状、碎片状、纤维状和发泡状,在0~30 cm范围内这4种形状微塑料的比例以纤维状最高;微塑料的颜色包括白色透明、黑色、黄色、其他颜色等;微塑料粒径随覆膜年限增加而减小,粒径<0.5 mm的微塑料占比最大,且其随着土层深度的增加而减少。

(3)北疆棉区土壤微塑料主要表现为表面粗糙、裂痕明显,且呈不规则形状,表面裂缝中夹杂着土壤颗粒等杂质,微塑料表面破裂程度较高。

(4)微塑料污染负荷指数表明,北疆棉区内各个覆膜年限土壤均受到不同程度的污染,整个区域内污染程度已达重度,该区域微塑料污染负荷指数较高,需要引起重视。

#### 参考文献:

- [1] 雷晓婷, 雷金银, 周丽娜, 等. 微塑料对农田土壤质量的影响研究现状与分析[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(2): 26-28. LEI X T, LEI J Y, ZHOU L N, et al. Status and analysis of study on effects of microplastics on farmland soil quality[J]. *Ningxia Agriculture and Forestry Technology*, 2020, 61(2): 26-28.
- [2] NUELLE M T, DEKIFF J H, REMY D, et al. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 184: 161-169.
- [3] LAHENS L, STRADY E, KIEU-LE T C, et al. Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river(Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 236: 661-671.
- [4] 赵新月. 海岸带环境中大塑料和微塑料的组成、鉴别及来源研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019: 14-21. ZHAO X Y. Compositions, identification and sources of macroplastic debris and microplastics in coastal environments[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019: 14-21.
- [5] 程姣姣, 郭献军, 李艳芳. 黄海北部四十里湾微塑料污染特征研究[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(1): 1-7. CHENG J J, GUO X J, LI Y F. The characteristics of microplastics pollution in Sishili bay of the North Yellow Sea[J]. *Marine Environment Science*, 2021, 40(1): 1-7.
- [6] MORET-FERGUSON S, LAW K L, PROSKUROWSKI G, et al. The size, mass and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(10): 1873-1878.
- [7] 周雨苗, 何刚辉, 马绍峰, 等. 土壤微塑料污染的生态效应[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(5): 1040-1049. ZHOU Y M, HE G H, MA S F, et al. Ecological effects of microplastics contamination in soils[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2021, 38(5): 1040-1049.
- [8] JIN X, FILLEY T R. Enhanced conversion of newly-added maize straw to soil microbial biomass C under plastic film mulching and organic manure management[J]. *Geoderma*, 2018, 313: 154-162.
- [9] 肖军, 赵景波. 农田塑料地膜污染及防治[J]. 四川环境, 2005, 24(1): 102-105. XIAO J, ZHAO J B. Farmland plastic film pollution and its countermeasures[J]. *Sichuan Environment*, 2005, 24(1): 102-105.
- [10] 侯军华, 檀文炳, 余红, 等. 土壤环境中微塑料的污染现状及其影响研究进展[J]. 环境工程, 2020, 38(2): 16-27. HOU J H, TAN W B, YU H, et al. Microplastics in soil ecosystem: a review on sources, fate and ecological impact[J]. *Environmental Engineering*, 2020, 38(2): 16-27.
- [11] 汪文玲. 厦门城市污水处理厂中微塑料的分布特征及其防控措施研究[D]. 厦门: 自然资源部第三海洋研究所, 2019: 27-52. WANG W L. Study on characteristics distribution of microplastics in Xiamen urban wastewater and its control measures[D]. Xiamen: The Third Marine Research Institute of the Ministry of Natural Resources, 2019: 27-52.
- [12] 周倩, 田崇国, 骆永明, 等. 滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异[J]. 科学通报, 2017, 62(33): 3902-3909. ZHOU Q, TIAN C G, LUO Y M, et al. Various forms and deposition fluxes of microplastics identified in the coastal urban atmosphere[J]. *Science China Press*, 2017, 62(33): 3902-3909.
- [13] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272. YAN C R, MEI X R, HE W Q, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11): 269-272.
- [14] HU C, LU B, GUO W S, et al. Distribution of microplastics in mulched soil in Xinjiang, China[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2021, 14(2): 196-204.
- [15] YU Y X, ZHANG Z H, ZHANG Y X, et al. Abundances of agricultural microplastics and their contribution to the soil organic carbon pool in plastic film mulching fields of Xinjiang, China[J]. *Chemosphere*, 2023: 137837.
- [16] LIU H, WANG X, SHI Q, et al. Microplastics in arid soils: impact of different cropping systems (Altay, Xinjiang)[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 303: 119162.
- [17] 王志超, 孟青, 于玲红, 等. 内蒙古河套灌区农田土壤中微塑料的赋存特征[J]. 农业工程学报, 2020, 36(3): 204-209. WANG Z C, MENG Q, YU L H, et al. Occurrence characteristics of microplastics in farmland soil of Hetao Irrigation District, Inner Mongolia[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(3): 204-209.
- [18] TOMLINSON D L, WILSON J G, HARRIS C R, et al. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index[J]. *Helgolnder Meeresuntersuchungen*, 1980, 33(1): 566-575.
- [19] EVERAERT G, VAN CAUWENBERGHE L, RIJCKE M D, et al. Risk assessment of microplastics in the ocean: modelling approach and first conclusions[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242: 1930-1938.
- [20] 周隆胤, 简敏菲, 余厚平, 等. 乐安河-鄱阳湖段底泥微塑料的分布特征及其来源[J]. 土壤学报, 2018, 55(5): 1222-1232. ZHOU L Y, JIAN M F, YU H P, et al. Distribution of microplastics and its source in the sediments of the Le'an River in Poyang Lake[J]. *Acta*

- Pedologica Sinica*, 2018, 55(5):1222-1232.
- [21] 周倩. 典型滨海潮滩及近海环境中微塑料污染特征与生态风险[D]. 烟台:中国科学院烟台海岸带研究所, 2016:34-52. ZHOU Q. Occurrences and ecological risks of microplastics in the typical coastal beaches and seas[D]. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone, Chinese Academy of Sciences, 2016:34-52.
- [22] HUANG Y, LIU Q, JIA W, et al. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 260:114096.
- [23] 时馨竹, 孙丽娜, 李珍, 等. 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(7):1498-1508. SHI X Z, SUN L N, LI Z, et al. Composition and distribution of microplastics in farmland soil around Shenyang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(7):1498-1508.
- [24] MOLLER K, GEVERT T, HOLMSTROM A. Examination of a low density polyethylene(ldpe) film after 15 years of service as an air and water vapour barrier[J]. *Polymer Degradation & Stability*, 2001, 73(1):69-74.
- [25] RILLIG M C, INGRAFFIA R, DE SOUZA MACHADO A A. Microplastic incorporation into soil in agroecosystems[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8:1805.
- [26] 杨晓庭. 农田土壤中残膜的分布与降解特征及对土壤理化性质影响[D]. 长春:吉林农业大学, 2021:21-23. YANG X T. Distribution and degradation characteristics of residual film in farmland soil and its influence on soil physical and chemical properties[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2021:21-23.
- [27] 张宇恺. 上海农田土壤中微塑料分布及对重金属吸附特征研究[D]. 上海:上海第二工业大学, 2021. ZHANG Y K. Interaction mechanism between microplastics and soil media[D]. Shanghai: Shanghai Second University of Technology, 2021.
- [28] HU C, LU B, GUO W, et al. Distribution of microplastics in mulched soil in Xinjiang, China[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2021, 14:196-204.
- [29] 张伟平. 农田土壤微塑料的分离及其对污染物的吸附特征研究[D]. 郑州:河南大学, 2020:20-26. ZHANG W P. Study on the separation of microplastics from farmland soil and their adsorption characteristics for pollutants[D]. Zhengzhou: Henan University, 2020:20-26.
- [30] HUANG Y, LIU Q, JIA W, et al. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 260:114096.
- [31] FANG A, DONG J, AN Y. Distribution characteristics and pollution assessment of soil heavy metals under different land-use types in Xuzhou City, China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7):1832-1844.
- [32] HUFFER T, WENIGER A K, HOFMANN T. Sorption of organic compounds by aged polystyrene microplastic particles[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 236:218-225.
- [33] 郝永丽, 胡亚鲜, 白晓雄, 等. 黄土高原土地利用方式对微塑料丰度和形态分布的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(9):4748-4755. HAO Y L, HU Y X, BAI X X, et al. Abundances and morphology patterns of microplastics under different land use types on the Loess Plateau[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(9):4748-4755.
- [34] FENG S S, LU H W, TIAN P P, et al. Analysis of microplastics in a remote region of the Tibetan Plateau: implications for natural environmental response to human activities[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 739:140087.
- [35] 杨光蓉, 陈历睿, 林敦梅. 土壤微塑料污染现状、来源、环境命运及生态效应[J]. 中国环境科学, 2021, 41(1):353-365. YANG G R, CHEN L R, LIN D M. Status, sources, environmental fate and ecological consequences of microplastics pollution in soil[J]. *China Environmental Science*, 2021, 41(1):353-365.
- [36] 郝爱红, 赵保卫, 张建, 等. 土壤中微塑料污染现状及其生态风险研究进展[J]. 环境化学, 2021, 40(4):1100-1111. HAO A H, ZHAO B W, ZHANG J, et al. Research progress on pollution status and ecological risk of microplastics in soil[J]. *Environmental Chemistry*, 2021, 40(4):1100-1111.

(责任编辑:李丹)